

(19) 日本国特許庁 (J P)

## (12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-83417

(P 2 0 0 2 - 8 3 4 1 7 A)

(43) 公開日 平成14年3月22日 (2002. 3. 22)

(51) Int. Cl. <sup>7</sup>

識別記号

F I

テ-マコ-ト' (参考)

G11B 5/738

G11B 5/738

4K029

C23C 14/06

C23C 14/06

T 5D006

14/35

14/35

F

G11B 5/64

G11B 5/64

審査請求 未請求 請求項の数18 O L (全11頁)

(21) 出願番号 特願2000-271236 (P 2000-271236)

(22) 出願日 平成12年9月7日 (2000. 9. 7)

(71) 出願人 000005810

日立マクセル株式会社

大阪府茨木市丑寅1丁目1番88号

(71) 出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72) 発明者 桐野 文良

大阪府茨木市丑寅一丁目1番88号 日立マ

クセル株式会社内

(74) 代理人 100099793

弁理士 川北 喜十郎

最終頁に続く

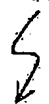
(54) 【発明の名称】 磁気記録媒体及びそれを用いた磁気記録装置

(57) 【要約】

【課題】 非晶質の磁性膜に形成される磁区の位置を高精度に画定でき、高い信頼性を有する磁気記録媒体及びそれを備える磁気記録装置を提供する。

【解決手段】 磁気記録媒体10は基板1上に下地膜2と磁性膜3とを備える。下地膜2は、二次元的に規則的に配列した六角形の結晶粒子とそれを取り囲む粒界部から構成される。結晶粒子とその粒界によって下地膜表面に凹凸が規則的に形成されている。かかる凹凸を有する下地膜上に形成される磁性膜は下地膜の凹凸に対応した凹凸が形成される。磁性膜の凹凸は磁壁の移動を妨げるピンニングサイトとして機能する。磁性膜に形成された磁区は所望の位置に高精度に画定される。その結果、磁区の揺らぎが低減されるので、エラーが低減され、高い信頼性を有する磁気記録媒体を提供できる。本発明により60Gb/in<sup>2</sup>を越える超高密度記録を実現できた。

10



1 基板

2 下地膜

3 磁性膜

4 保護膜

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 磁気記録媒体において、  
基板上に、下地膜及び非晶質の磁性膜を備え、  
上記下地膜は、結晶粒子と当該結晶粒子を取り囲む非晶質の結晶粒界面部とから構成され、該結晶粒子及び結晶粒界面部によって下地膜表面に凹凸が形成されていることを特徴とする磁気記録媒体。

【請求項2】 上記結晶粒子は、基板面に平行な面内において六角形状を有しており、各結晶粒子が基板面に平行な面内においてハニカム状に配列していることを特徴とする請求項1に記載の磁気記録媒体。

【請求項3】 上記結晶質粒子は、酸化コバルト、酸化ニッケル及び酸化鉄からなる群から選ばれた少なくとも1種類の化合物から構成され、上記結晶粒界面部は、酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化タンタル及び酸化亜鉛からなる群から選ばれた少なくとも1種類の酸化物からなる無機化合物から構成されていることを特徴とする請求項1または2に記載の磁気記録媒体。

【請求項4】 上記基板と下地膜との間に、非晶質薄膜または一定の方位に配向した配向膜を備えることを特徴とする請求項1～3のいずれか一項に記載の磁気記録媒体。

【請求項5】 上記非晶質薄膜または配向膜は、金属または非晶質無機化合物から形成されていることを特徴とする請求項4に記載の磁気記録媒体。

【請求項6】 上記非晶質薄膜または配向膜が、Hf、Ru、Ti、Ta、Nb、Cr、Mo、W、Si、N<sub>4</sub>、C、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>及びNi-Pからなる群から選ばれた少なくとも1種類の材料から構成されていることを特徴とする請求項5に記載の磁気記録媒体。

【請求項7】 上記下地膜と磁性膜との間に中間膜を備え、該中間膜が、Hf、Ru、Ti、Ta、Nb、Cr、Mo、W、Ni-P及びCからなる群から選ばれた少なくとも1種類の材料から構成されていることを特徴とする請求項1～6のいずれか一項に記載の磁気記録媒体。

【請求項8】 上記下地膜の結晶粒子が凸部を形成し、結晶粒界面部が凹部を形成していることを特徴とする請求項1～7のいずれか一項に記載の磁気記録媒体。

【請求項9】 上記凸部と凹部の高さの差が3nm～10nmであることを特徴とする請求項8に記載の磁気記録媒体。

【請求項10】 上記下地膜は、電子サイクロトロン共鳴スパッタ法を用いて形成されていることを特徴とする請求項1～9のいずれか一項に記載の磁気記録媒体。

【請求項11】 上記結晶粒子の粒子径分布の標準偏差が平均粒子径の15%以下であることを特徴とする請求項1～10のいずれか一項に記載の磁気記録媒体。

【請求項12】 上記結晶粒子は、基板表面に垂直な方

向における構造が柱状構造であることを特徴とする請求項1～11のいずれか一項に記載の磁気記録媒体。

【請求項13】 上記結晶粒子は、5nm～15nmの範囲内の粒子径を有することを特徴とする請求項1～12のいずれか一項に記載の磁気記録媒体。

【請求項14】 上記結晶粒界面部が、0.5nm以上2nm以下の幅を有することを特徴とする請求項1～13のいずれか一項に記載の磁気記録媒体。

【請求項15】 1つの結晶粒子の周囲に析出している結晶粒子数の平均が5.8以上6.2以下であることを特徴とする請求項1～14のいずれか一項に記載の磁気記録媒体。

【請求項16】 上記磁性膜の表面に、上記下地膜の表面の凹凸を反映した凹凸が形成されていることを特徴とする請求項1～15のいずれか一項に記載の磁気記録媒体。

【請求項17】 上記磁性膜表面の凹凸の凸部と凹部との高さの差が3nm～10nmであることを特徴とする請求項16に記載の磁気記録媒体。

【請求項18】 請求項1～17のいずれか一項に記載の磁気記録媒体と、上記磁気記録媒体に情報を記録または再生するための磁気ヘッドと、上記磁気記録媒体を磁気ヘッドに対して駆動するための駆動装置とを備える磁気記録装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、高密度記録用の磁気記録媒体及びそれを備える磁気記録装置に関し、特に、微小磁区のエッジの揺らぎを低減でき、高性能でかつ高信頼性を有する超高密度記録に好適な磁気記録媒体及びそれを備えた磁気記録装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年の高度情報化社会の進展にはめざましいものがあり、各種形態の情報を統合したマルチメディアが急速に普及してきている。マルチメディアの一つとしてコンピュータ等に装着される磁気ディスク装置が知られている。現在、磁気ディスク装置は、記録密度を向上させつつ小型化する方向に開発が進められている。また、それに並行して装置の低価格化も急速に進められている。

【0003】 磁気ディスクの高密度化を実現するためには、1) ディスクと磁気ヘッドとの距離を狭めること、2) 磁気記録媒体の保磁力を増大させること、3) 信号処理方法を高速化すること、4) 磁気記録媒体の熱揺らぎを低減すること、等が要望されている。

【0004】 磁気記録媒体において高密度磁気記録を実現するには、磁性膜の保磁力の増大が必要である。磁気記録媒体の磁性膜には、Co-Cr-Pt(-Ta)系の材料が広く用いられていた。この材料は、20nm程度のCoの結晶粒子が析出した結晶質材料である。かか

る材料を用いた磁気記録媒体において、例えば、 $40 \text{ Gbit/inch}^2$  (約  $6.20 \text{ Gbit/cm}^2$ ) を超える面記録密度を実現するためには、記録時や消去時に磁化反転が生じる単位 (磁気クラスター) を更に小さくするとともに、その粒子サイズの分布を小さくして、磁性膜の構造や組織を精密に制御しなければならない。このように磁性膜構造や組成を制御することにより、再生時に媒体から発生するノイズを低減することができる。しかし、結晶粒子サイズに分布が存在し、サイズの小さな粒子が存在していると、熱減磁や熱揺らぎが生じて、形成した磁区が安定に存在できない場合があった。これは、サイズの小さな粒子がトリガーとなり、この粒子を核として磁化反転が生じるためである。特に、記録密度の増大に伴って磁区が微細化されると熱減磁や熱揺らぎの影響は著しい。

【0005】このように、高密度記録のためには、磁性層の熱的安定性を高めなければならない。磁性層の熱的安定性については、 $K_u \cdot V / k \cdot T$  で示される値を指標とすることができる。ここで、 $K_u$  : 磁気異方性エネルギー、 $V$  : 活性化体積、 $k$  : ボルツマン定数、 $T$  : 温度である。この値が大きいほど、磁性層は熱的に安定であることを示す。それゆえ、磁性層の熱的安定性を高めるには、活性化体積  $V$  及び磁気異方性エネルギー  $K_u$  を大きくする必要がある。現時点において Co 系材料では、 $K_u \cdot V / k \cdot T$  の値は  $60 \sim 70$  程度である。

【0006】これまで、活性化体積  $V$  や磁気異方性エネルギー  $K_u$  を増大するために、磁性膜の組成や構造、更には、磁気記録媒体の構造を工夫することにより検討されてきた。それを実現する方法として、例えば、米国特許 4652499 号には基板と磁性膜との間にシード膜を設ける方法が開示されている。

【0007】また、活性化体積  $V$  や磁気異方性エネルギー  $K_u$  を増大させるための材料として、例えば、第 23 回日本応用磁気学会学術講演会 8aB-11 (1999) には、光磁気記録媒体において用いられている希土類-鉄族系の非晶質合金を用いることが開示されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述のシード膜を設ける方法を用いて磁性膜における磁性粒子径及びその分布を制御することには限界があり、微小な粒子や粗大化した粒子が混在している場合があった。微小な粒子や粗大化した粒子は、情報を記録する場合 (磁化を反転させる場合) に、周囲の磁性粒子からの漏洩磁界の影響を受ける。例えば、大きな粒子は、周囲の粒子に磁気的な相互作用を与えるために、安定した記録が行えないという課題があった。

【0009】また、希土類-鉄族系の非晶質合金 (希土類-遷移金属合金) を磁性膜に用いた場合、かかる非晶質合金は磁壁移動型の材料であるために、情報記録時に

磁壁位置を高精度に制御して記録磁区の位置を正確に確定させる必要があった。また、かかる材料は、記録時や消去時に磁化反転が生じる単位である磁気クラスターの間で極めて強い磁気的相互作用が発生しているために所望の記録磁区を形成することが困難であった。また、磁気的相互作用の強さの違いにより様々な大きさの磁気クラスターが混在する結果、磁化反転の生じた領域と生じていない領域との境界線は、図 8 (B) に示すように、全体として粗いジグザグのパターンを呈し、ノイズを増大させることがあった。このように、非晶質合金を用いて磁性膜を形成した場合は、磁区の位置や磁区の形状の制御に課題があり、 $60 \text{ Gbit/inch}^2$  (約  $9.30 \text{ Gbits/cm}^2$ ) を超える記録密度で情報を記録することは困難であった。

【0010】本発明は、このような状況に鑑みてなされたものであり、本発明の第 1 の目的は、非晶質の磁性膜に記録磁区を所望の形状及びサイズで所望の位置に確実に形成することができる磁気記録媒体及びそれを備える磁気記録装置を提供することにある。

【0011】本発明の第 2 の目的は、磁化遷移領域における磁区の形状がジグザグパターンになることを防止し、情報を低ノイズで再生することができる磁気記録媒体及びそれを備える磁気記録装置を提供することにある。

【0012】本発明の第 3 の目的は、 $60 \text{ Gbit/inch}^2$  (約  $9.30 \text{ Gbits/cm}^2$ ) を越える超高密度記録に好適な磁気記録媒体及びそれを備える磁気記録装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】本発明の第 1 の態様に従えば、磁気記録媒体において、基板上に、下地膜及び非晶質の磁性膜を備え、上記下地膜は、結晶粒子と当該結晶粒子を取り囲む非晶質の結晶粒界面部とから構成され、該結晶粒子及び結晶粒界面部によって下地膜表面に凹凸が形成されていることを特徴とする磁気記録媒体が提供される。

【0014】本発明の磁気記録媒体は、基板上に下地膜を備え、当該下地膜は、結晶粒子が非晶質の結晶粒界面部により取り囲まれ、それぞれの結晶粒子が下地膜面内で規則的に配列した構造を有している。そして、基板上に形成された下地膜の表面には、規則的に配列された結晶粒子とその周囲の結晶粒界面部とによって凹凸が規則正しく形成されている。下地膜表面の凸部は、結晶粒子がその周囲の結晶粒界面部の表面から突出することにより形成され得、その結果、結晶粒界面部が凹部を画成することになり得る。このように表面に規則正しく凹凸が形成された下地膜上に非晶質の磁性膜を形成すると、図 5 に模式的に示すように、この下地膜表面の凹凸を反映して磁性膜の表面にもまた同様の凹凸が形成される。

【0015】例えば、下地膜表面に形成されている凹凸

の凸部が、下地膜の結晶粒子から形成されている場合には、磁性膜の表面には、下地膜の結晶粒子に対応した磁性膜凸部が形成され、磁性膜凸部を取り囲むように、結晶粒界面に対応した磁性膜凹部（窪み）が形成される。ここで、磁性膜凸部と磁性膜凹部は、同一材料で成膜されているが、互いに異なる応力が発生しているために組織や組成が異なる。かかる磁性膜に記録磁区を形成すると、磁性膜凹部が磁壁移動の障害となり、形成された記録磁区がピン止めされる。すなわち、下地膜の凸部上

（結晶粒子上）に形成された、結晶粒子とほぼ同一形状の磁性膜凸部は、その周囲の磁性膜凹部と異なる磁気的性質を有するために磁性膜凹部と磁気的に分断され、磁性膜凸部が磁化反転単位となって、あたかも磁気クラスターのように振舞う。このように、下地膜の微細な凹凸を反映して形成された磁性膜の凹凸が物理的（構造的）なピン止めとして作用するので、磁性膜として磁壁移動型の非晶質材料を用いたとしても、磁区と磁区との間に形成される磁壁の移動を有効に防止し、磁性膜に所望の形状及び寸法の記録磁区を所望の位置に形成することが可能となる。また、下地膜の凹凸を反映して形成された磁性膜の凹凸は、磁気ヘッドが磁気記録媒体に吸着することを防止するためのテクスチャとしても有効である。

【0016】また、下地膜の結晶粒子の寸法を制御することによって上述の磁気クラスター（磁化反転単位）の大きさを制御することができるので、下地膜の結晶粒子を微小化することにより高密度記録を実現することができる。例えば、 $60 \text{ Gbits/inch}^2$  の記録密度を実現するには、結晶粒子サイズを  $5 \text{ nm} \sim 15 \text{ nm}$  程度にすればよく、更に記録密度を高めるには結晶粒子サイズを更に微小にすればよい。

【0017】本発明の磁気記録媒体において、下地膜の一つの結晶粒子は、図3に示すように、基板面に平行な面内における形状が正六角形状であることが好ましく、基板面に垂直な断面ではその結晶粒子が上方に柱状に成長した構造を有していることが好ましい。特に、結晶粒子の柱状の断面は、下地層の成長とともに扇状に広がることなく、結晶粒界面の幅が均等な構造を有していることが好ましい。このような、一つが正六角柱をなす結晶粒子の集合体は、正六角柱が規則的に配列したハニカム構造を形成していることが好ましい。また、一個の正六角形の結晶粒子の周囲に存在する粒子の個数は、平均で  $5.8 \sim 6.2$  個であることが好ましい。また、結晶粒子サイズの分布が、統計学的な標準偏差： $\sigma$  が粒子サイズの  $15\%$  以下であることが好ましく、更に、粒子サイズの分布が正規分布または正規分布に近い分布であることが好ましい。

【0018】ここで、磁性膜に形成される磁気クラスター同士の距離は、下地膜中の結晶粒子間の距離すなわち結晶粒界面の幅を制御することによって調整でき、磁気クラスター間で働く磁気的相互作用を弱めるには、 $0.5$

$\text{nm}$ 以上  $2 \text{ nm}$ 以下が好適である。

【0019】本発明において、下地膜の結晶質粒子は、酸化コバルト、酸化ニッケル及び酸化鉄から選ばれる少なくとも1種類の化合物が好適であり、結晶粒界面は、酸化シリコン、酸化アルミニウム、酸化チタン、酸化タングステン及び酸化亜鉛から選ばれる少なくとも1種類の化合物が好適である。

【0020】また、本発明の磁気記録媒体では、下地膜が磁性を有するように構成することもできる。下地膜に磁性を持たせるには、下地膜中の結晶粒子を、例えば、ストイキオメトリーを制御することにより実現できる。例えば  $\text{CoO}$  は非磁性を示すが、酸素濃度を制御して  $\text{Co}_3\text{O}_4$  を  $\text{CoO}$  に含ませることにより、磁性を示すようにすることができる。酸化コバルトに限らず、酸化鉄や酸化ニッケルについても同様である。下地膜の結晶粒子に磁性を持たせて、下地膜の結晶粒子上に形成される磁性膜とのみ磁気的に結合させ、結晶粒子の周囲の結晶粒界部に形成される磁性膜とは磁気的に結合させないようにすれば、下地膜の結晶粒子上に位置する磁性膜のピン止め効果をより一層促進させることができる。すなわち、下地膜の結晶粒子上に位置し、結晶粒子とほぼ同一の形状を有する磁性膜部分（磁気クラスター）を、その周囲の磁性膜部分から磁気的に孤立させることが可能となり、前述の構造的なピン止めのみならず、磁気的にピン止めすることが可能となる。

【0021】また、本発明の磁気記録媒体は、基板と下地膜との間に、非晶質薄膜または一定の方位に配向した配向膜を備えることができる。非晶質薄膜または配向膜は、基板と下地膜との接着性を向上させたり、下地膜に初期成長層が形成されることを抑制したりすることができる。非晶質薄膜または配向膜を構成する材料は、金属または非晶質無機化合物が好ましく、例えば、 $\text{Hf}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Si}_3\text{N}_4$ 、 $\text{C}$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{Cr}_2\text{O}_3$ 、 $\text{SiO}_2$  及び  $\text{Ni-P}$  から選ばれる少なくとも1種類の材料が好適である。

【0022】また、本発明の磁気記録媒体は、下地膜と磁性膜との間に、下地膜中の遊離の酸素が磁性膜を構成する材料と反応することを防ぐための中間膜を形成しても良い。かかる中間膜を構成する材料としては、例えば、 $\text{Hf}$ 、 $\text{Ru}$ 、 $\text{Ti}$ 、 $\text{Ta}$ 、 $\text{Nb}$ 、 $\text{Cr}$ 、 $\text{Mo}$ 、 $\text{W}$ 、 $\text{Ni-P}$ 、 $\text{C}$  のうちより選ばれる少なくとも1種類の材料が好適である。

【0023】また、下地膜上に形成される種々の膜、例えば、磁性膜や上述の中間膜は、下地膜表面に形成されている凹凸と密着して凹凸形状を維持した状態で形成されることが好ましい。すなわち、下地膜と磁性膜との界面、下地膜と中間膜との界面、または中間膜と磁性膜との界面を、例えば電子顕微鏡により観察したときに、各界面が良好に密着していることが好ましい。より好ましくは、下地膜上に形成される磁性膜が下地膜の表面の組

織及び形状を反映し、下地膜の結晶粒子に対応する磁性膜部分が構造的及び磁氣的に孤立して磁化反転の単位となることである。

【0024】本発明において、上述したような規則正しい凹凸を有する下地膜の成膜には、電子サイクロトロン共鳴（ECR）スパッタ法が好適である。このスパッタ法は、バイアス電圧の印加の方法により、ターゲット粒子の運動エネルギーを揃えることができ、且つそのエネルギーをより精密に制御できる。特に、ECRスパッタ法を用いて下地膜を形成することにより、複雑なスパッタ条件を必要とせずに、所望の形状のハニカム構造を形成することができる。また、結晶粒子とその粒界によって画成される凹凸を下地膜全体にわたって所望の高さで均一に形成することができる。

【0025】従来、磁気ヘッドが磁気ディスクに吸着することを防止するために、磁気ディスクの表面を研磨テープや微細な砥粒を用いて研磨して磁気ディスクの表面に微細な凹凸（テクスチャ）を形成する方法が知られている。かかる方法を用いても下地膜に微細な凹凸を形成することができるが、下地膜に20nm以下の凹凸を生産性良く形成することは困難であると考えられる。上述のECRスパッタ法を用いれば、下地膜にナノメートルオーダーの凹凸を高精度に且つ生産性良く形成することができる。

【0026】本発明の第2の態様に従えば、本発明の第1の態様に従う磁気記録媒体と、上記磁気記録媒体に情報を記録または再生するための磁気ヘッドと、上記磁気記録媒体を磁気ヘッドに対して駆動するための駆動装置とを備える磁気記録装置が提供される。

【0027】本発明の磁気記録装置は、本発明の第1の態様に従う磁気記録媒体を装着しているので、音声情報、コードデータ、画像情報等の情報を高密度記録でき、記録された情報を低ノイズで再生することができる。また、本発明の磁気記録装置は、60Gbits/inch<sup>2</sup>（約9.30Gbits/cm<sup>2</sup>）を超える面記録密度で情報を記録することができる。

【0028】本発明の磁気記録装置において、磁気ヘッドは、磁気記録媒体に記録された情報を再生するための再生素子として、MR素子（Magnetoresistive素子；磁気抵抗効果素子）やGMR素子（Giant Magnetoresistive素子；巨大磁気抵抗効果素子）、TMR素子（Tunneling Magnetoresistive素子；磁気トンネル型磁気抵抗効果素子）を備え得る。これらの再生素子を用いることにより磁気記録媒体に記録された情報を高いS/Nで再生することができる。

【0029】

【発明の実施の形態】以下、本発明の磁気記録媒体及びそれを備える磁気記録装置について実施例を用いて更に詳細に説明するが、本発明はこれに限定されるものではない。

【0030】

【実施例】本実施例では、本発明に従う磁気記録媒体として、図1に示すような、基板1上に無機化合物薄膜（下地膜）2、磁性膜3及び保護膜4を積層した構造を有する磁気記録媒体10を作製した。以下に、かかる磁気記録媒体の製造方法、並びに、下地膜、磁性膜及び磁気記録媒体の特性測定の結果について説明する。

【0031】〔ECRスパッタ装置〕まず、磁気記録媒体の無機化合物薄膜を成膜する際に用いるECRスパッタ装置について説明する。図2に、ECRスパッタ装置の断面構造を概念的に示した。

【0032】ECRスパッタ装置80は、プラズマが発生する第1チャンバ81と、第1チャンバ81の上方に連結された環状のターゲット70と、ターゲット70の上方に連結された第2チャンバ83とを主に有する。第1チャンバ81は、石英製の円筒管であり、軸方向の上方及び下方に一对のコイル64、66がそれぞれ周回して設けられている。第1チャンバ81には、マイクロ波発生器74が導入管を介して連結されており、導入管は第1チャンバ81のコイル64と66との間に連結されている。第2チャンバ83は金属製の真空チャンバであり、その頂部には、ターゲット70から叩き出された粒子を堆積させる基板68が設置されている。さらに、第2チャンバ83の上方には、印加されたバイアスにより引き出されたプラズマを収束させる（発散を抑制させる）ためのコイル62が設けられている。ターゲット70と第2チャンバ83内に設置された基板68は、バイアス電圧が印加できるように、電源90に接続されている。

【0033】第1チャンバ81内部、ターゲット70の内側及び第2チャンバ内部は連通され、外部から閉塞されている。装置動作時に不図示の真空ポンプにより、第1チャンバ81内部、ターゲット70内側及び第2チャンバ83内部の共有の空間を減圧すると共に、第1チャンバ81内に不図示のガス供給口を介して気体（例えばAr）を導入する。次いで、装置内部にコイル64及び66を用いて一定の磁界を印加する。この磁界によって、装置内部に存在する自由電子は、磁界軸を右回りにサイクロトロン運動する。この電子サイクロトロン運動の角振動数は、例えば、電子密度が10<sup>19</sup>cm<sup>-3</sup>程度である場合には、約109Hz程度であり、マイクロ波領域の角振動数となる。この磁場内にマイクロ波発生器74から、発生したマイクロ波を導入すると、マイクロ波は電子のサイクロトロン運動と共鳴し、そのマイクロ波のエネルギーが電子に吸収される共鳴吸収が起こる。この共鳴吸収によって電子は高エネルギーを得て加速され、気体に衝突してその気体の電離を引き起こし、高エネルギーを有するECRプラズマ76を第1チャンバ81内に発生させる。ここで、電子には共鳴吸収により一定レベルのエネルギーが与えられるので、電子のエ

エネルギー状態もまた一定の高エネルギーレベルにある。このような電子を気体に衝突させてプラズマを発生させるため、このプラズマを構成する粒子は高エネルギーであると共に、放電などにより発生する通常のプラズマに比べて各粒子のエネルギーが揃い、エネルギー分布の狭いプラズマが得られる。

【0034】プラズマの発生位置の上方にある環状のターゲット70と基板68の間には、バイアス電圧が印加されているため、発生したプラズマはターゲット70に向かって引き出され、ターゲット70に衝突してターゲット粒子を叩き出す。この際に、バイアス電圧を変化させることによって、ターゲット70に衝突するプラズマの運動エネルギー、ひいてはプラズマによって叩き出されたターゲット粒子の運動エネルギーを精密に制御することが可能となる。このようにしてエネルギーが制御されたターゲット粒子は、図示したようにターゲット粒子の流れ72として基板68に向かい、基板68上に均質にかつ等しい膜厚で堆積する。

【0035】〔下地膜の作製〕かかるECRスパッタ装置を用いてガラス基板1上に無機化合物薄膜2を成膜した。無機化合物薄膜の成膜では、 $\text{CoO}$ と $\text{SiO}_2$ を4:1に混合して焼結したものをターゲットに、放電ガスには純Arをそれぞれ使用した。スパッタ時の圧力は0.3mTorr、投入マイクロ波電力は0.7kWである。また、基板には500WのRFバイアスを印加した。作製した薄膜の膜厚は30nmである。

【0036】得られた無機化合物薄膜2の表面及び断面の構造を透過型電子顕微鏡(TEM)により観察した。観察された薄膜の平面構造の模式図を図3に示す。図3に示したように、無機化合物薄膜2は、粒子径が10nmの正六角形の粒子12がハニカム状に配列した集合体であり、各粒子は互いに粒界部14を介して二次元的に規則正しく配列していた。粒子間の距離は0.5~0.8nmであった。粒子径及び粒子間の距離は、無機化合物薄膜2の成膜に用いるターゲットの組成( $\text{CoO}$ と $\text{SiO}_2$ の比など)を変化させることにより、任意に選択することができる。また、薄膜2の断面構造を観察すると、図4に示すように、正六角形の粒子12が基板面に対して垂直方向に柱状に成長していることがわかった。かかる柱状組織は、途中で結晶粒子が大きくなるなど異常成長することなく成長していた。

【0037】また、薄膜表面には、規則性に優れた凹凸が存在しており、凸部が粒子12に相当し、凹部が粒界部14に相当していた。凸部と凹部との高低差は6~7nm程度であった。この高低差は、無機化合物薄膜の表面をドライエッチングすることにより、更に大きくしたり、逆に小さくしたりすることができる。すなわち、エッチング条件を選択することにより所望の値に制御可能である。磁気ヘッドを安定浮上させたり、磁性膜における磁壁のピンニングサイトになるには、上記範囲が好適

である。また、薄膜表面を巨視的に観察したところ、うねりが形成されており、その周期は150nm~160nm程度であった。うねりの周期が短すぎるとテクスチャとして機能せず、磁気ヘッドを媒体上で浮上させたときに、磁気ヘッドと媒体との距離が離れるために好ましくない。また、うねりの周期が長すぎても高密度記録に適さない。

【0038】また、無機化合物薄膜2のエネルギー分散型X線分析( $\mu\text{-EDX}$ )を行なって粒子12とその粒界部14を分析したところ、粒子12は主にコバルトの酸化物であり、粒界部14に存在しているのは主に酸化シリコンであることがわかった。ここで、粒子12のコバルト酸化物中には酸化シリコンが微量含まれ、また粒界部14の酸化シリコンにはコバルト酸化物が微量含まれているが、その組織や物性に及ぼす影響は小さい。また、無機化合物薄膜の格子像観察を行なったところ、粒子12のコバルト酸化物は結晶質であり、粒界部14の酸化シリコンは非晶質であることがわかった。

【0039】つぎに、上述の無機化合物薄膜の表面のTEM観察結果を用いて、結晶粒子径の分布及びある1つの結晶粒子の周囲に存在している結晶粒子の数(以下、配位粒子数と呼ぶ)を解析した。結晶粒子径については、ランダムに選択した一辺が200nmの正方形中に存在している粒子について調べた。その結果、平均結晶粒子径は10nmであった。粒子径の分布は正規分布をしており、標準偏差を求めると0.6nm以下であった。このように粒子径分布が小さいのは薄膜形成にECRスパッタ法を用いたためである。RFスパッタ法やRFマグネトロンスパッタ法を用いて薄膜を形成した場合では、粒子径分布は1.0nm程度であることから、ECRスパッタ法を用いて薄膜を形成する方法は高密度記録という観点から極めて有効な方法である。配位粒子数について、ランダムに選択した280個の結晶粒子について調べた。その結果、平均で6.02個であった。このことは、結晶粒子の粒径のばらつきが少なく、基板面に平行な面内で結晶粒子の正六角形がハニカム状に極めて規則的に配列していることを示している。

【0040】この配位粒子数は、結晶粒子間の間隔に依存して変化する。ここで、 $\text{SiO}_2$ は構造に規則性を持たせる重要な役割を有しており、 $\text{SiO}_2$ 濃度は形成する結晶粒子の間隔を決定していることが分かった。この結晶粒子間の距離は、ターゲットの組成( $\text{Co}$ と $\text{Si}$ の比、あるいは $\text{CoO}$ と $\text{SiO}_2$ の比等)を変化させることにより所望の値を容易かつ任意に選択することができる。例えば、 $\text{CoO-SiO}_2$ 膜中の $\text{SiO}_2$ 濃度を多くすると、この結晶粒子間距離は長くなる。結晶粒子間の距離は、基板温度を上げるなどの成膜プロセスを最適化することにより変化させることができる。一方、 $\text{SiO}_2$ 濃度を低くすると結晶粒子間の距離は狭くなる(結晶粒子どうしが接近する)。それと同時に、粒子形状に

乱れが観測された。配位粒子数は、7個程度と多い粒子があったり、逆に4~5個と少ない粒子が存在しており、ばらつきが大きくなった。また、二次元の配列に乱れが生じ、ハニカム構造が崩れているのが観察された。適当な結晶粒子間隔範囲は0.5~2nmであり、本実施例では、この範囲に含まれるようにSiO<sub>2</sub>濃度の制御を行った。

【0041】また、比較のために無機化合物薄膜をECRスパッタ法に代えてRFマグネトロンスパッタ法により形成した。マグネトロンスパッタ法により形成した無機化合物薄膜の構造を、TEMによる観察像を用いて前述のECRスパッタ法による膜の場合と同様に解析した。その結果、平均粒子径は10nmであり、粒子径分布は正規分布をしているものの、標準偏差( $\sigma$ )は1.2nmであり、ECRスパッタ法により形成した膜の標準偏差( $\sigma$ )0.7nmと比較すると粒子径のばらつきが大きかった。また、配位粒子数を280個の結晶粒子について調べたところ、平均6.30個であり、ECRスパッタ法を用いて形成した場合に比べて規則性が低下していることが分かった。この比較実験から、ECRスパッタ法を用いて無機化合物薄膜2を形成すると、薄膜2の規則性を大きく改善でき、高密度記録に有利な膜が得られることがわかった。

【0042】上述の無機化合物薄膜の成膜では、ターゲットとして、CoOとSiO<sub>2</sub>との混合したものを焼結して用いたが、これらの各化合物を単体で焼結したものをターゲットに用い、二元同時スパッタにより成膜してもよく、成膜法やターゲットの種類には依存しない。無機化合物薄膜の成膜において重要なことは、マイクロ波を用いたECRスパッタ法を用い、スパッタ粒子のエネルギーを精密に制御することである。

【0043】また、無機化合物薄膜の成膜において、膜厚を5nm程度としても、逆に、100nmと厚くしても得られる膜の表面および断面の組織や構造、粒子サイズおよびサイズ分布などに、膜厚に依存した変化は見られなかった。5nm以下の膜厚では、成膜装置の都合上、安定して作製することが困難であり、また、100nm以上では成膜に時間がかかるとともに、膜の内部応力が増して膜が基板から剥離するので製造上の制限がある。

【0044】〔磁性膜の成膜〕つぎに、無機化合物薄膜上に情報記録用の磁性膜3として、Tb、Fe、Co、膜をRFマグネトロンスパッタ法により成膜した。かかるTb-Fe-Co膜の組成は、遷移金属の副格子磁化が優勢となる組成である。スパッタの際には、Tb-Fe-Co合金をターゲットに、純Arを放電ガスにそれぞれ使用した。形成した磁性膜の厚さは20nmである。スパッタ時の圧力は20mTorr、投入RF電力は1kW/150mmφである。

【0045】かかる磁性膜を成膜する前に、無機化合物

薄膜上に、Cr、Ti、Nb、Alなどの金属膜やSi、Nなどの窒化物膜を形成し、これらの膜を介して磁性膜を成膜してもよい。かかる金属膜や窒化物膜は、磁性膜(Tb-Fe-Co膜)の保護や凹凸の制御に効果がある。

【0046】また、磁性膜表面に形成される凹凸は、無機化合物薄膜表面の凹凸を反映しているが、成膜方法や成膜条件を選択することにより所望の凹凸(平坦を含む)を得ることができる。

10 【0047】〔保護膜の成膜〕次いで、磁性膜3上に保護膜4として、ECRスパッタ法によりカーボン薄膜を形成した。ターゲットにはカーボンターゲットを用い、放電ガスにはArを使用した。スパッタ時の圧力は0.3mTorr、投入マイクロ波電力は1kW(周波数は2.93GHz)、基板温度は室温である。マイクロ波により励起されたプラズマを引き込むためのRFバイアスをターゲットに印加した。その値は500Wである。なお、カーボンは導電体であるのでDC電圧を印加して引き込んでも同様の効果が得られる。

20 【0048】こうしてカーボン膜を膜厚3nmで成膜した。得られたカーボン膜の組織を高分解能透過型電子顕微鏡にて観察したところ、カーボン膜は3nm膜厚でもアイランド状になることなく全体にわたって均一な膜を形成していた。

30 【0049】ここで、保護膜の保護性能を調べるために、保護膜の膜厚を次第に薄くして形成したところ、膜厚が1nmになっても保護膜のカバレッジに変化はなく、アイランド状にはならなかった。膜厚を1nmよりも更に薄くしたが、電子顕微鏡の分解能以下になり、十分な解析を行なうことはできなかった。しかし、保護性能を考えると、少なくとも1nm程度以上の膜厚が必要であると考えられる。

【0050】また、カーボン膜の密度を、体積が既知の試料を溶解して濃度を定量する方法により求めたところ、ECRスパッタ法により作製したカーボン膜の密度は理論密度の69%であった。

【0051】こうして図1に示す積層構造を有する磁気記録媒体10を作製した。

40 【0052】〔磁気記録媒体の諸特性〕つぎに、得られた磁気記録媒体の磁気特性を測定した。VSM(Vibrating Sample Magnetometer)による測定からM-Hループを得た。その結果から、角型比のSおよびS\*はともに1.0であり、良好な角型性が得られた。また、保磁力:Hcは3.5kOe(約278.53kA/m)、飽和磁化:Msは500emu/cm<sup>3</sup>であった。また、基板面に対して垂直方向の垂直磁気異方性エネルギーが6×10<sup>6</sup>erg/cm<sup>3</sup>であり、基板面に垂直な方向に大きな磁気異方性を有する磁性体であった。

【0053】この磁気記録媒体の活性化体積を測定したところ、磁気記録媒体として広く用いられているCo-

Cr-Pt系磁性膜における値(約70)の約30倍と著しく大きかった。このことは、この磁性膜が熱的安定性に優れていることを示している。

【0054】つぎに、磁性膜の構造をX線回折法により調べたところ、回折ピークは得られず、X線的には非晶質であった。また、高分解能透過型電子顕微鏡(高分解能TEM)により組織や構造を調べたところ、明確な格子は見られず、非晶質か、極微細な組織の集合体であることがわかった。ここで、Tb-Fe-Co膜には非晶質合金を用いたが、Tbからなる層、Feからなる層及びCoからなる層を交互に積層して構成されるTb/Fe/Co多層膜や、Tbからなる層とFe-Co合金からなる層とを交互に積層してなるTb/Fe-Co多層膜のような、希土類元素と鉄族元素の交互積層多層膜(人工格子膜)を用いても同様の効果が得られた。

【0055】〔磁気記録装置〕つぎに、かかる磁気特性を有する磁気記録媒体の表面上に潤滑剤を塗布することによって磁気ディスクを完成させた。そして同様のプロセスにより複数の磁気ディスクを作製し、磁気記録装置に同軸上に組み込んだ。磁気記録装置の概略構成を図6及び図7に示す。

【0056】図6は磁気記録装置100の上面の図であり、図7は、磁気記録装置100の図6における破線A-A'方向の断面図である。記録用磁気ヘッドとして、2.1Tの高飽和磁束密度を有する軟磁性膜を用いた薄膜磁気ヘッドを用いた。また、記録信号は、巨大磁気抵抗効果を有するデュアルスピンバルブ型GMR磁気ヘッドにより再生した。磁気ヘッドのギャップ長は0.12 $\mu$ mであった。記録用磁気ヘッド及び再生用磁気ヘッドは一体化されており、図6及び図7では磁気ヘッド53として示した。この一体型磁気ヘッドは磁気ヘッド用駆動系54により制御される。

【0057】複数の磁気ディスク51はスピンドル52により同軸回転される。ここで、磁気ヘッド面と磁性膜との距離は12nmに保った。この磁気ディスク51に50Gbits/inch<sup>2</sup>(約7.75Gbits/cm<sup>2</sup>)に相当する信号(800kFCI)を記録して磁気ディスクのS/Nを評価したところ、30dBの再生出力が得られた。また、この磁気ディスクの欠陥レートを測定したところ、信号処理を行わない場合の値で1 $\times$ 10<sup>-5</sup>以下であった。

【0058】ここで、磁気力顕微鏡(MFM)を用いて、記録した部分の磁化状態を観察した。その結果、磁化遷移領域には、従来の結晶質系の磁性膜において観測されるような特有なジグザグパターンは観測されなかった。このように本実施例の磁気記録媒体では磁化遷移領域にジグザグパターンが形成されていないために、ノイズレベルがCo-Cr-Pt系の従来の磁気記録媒体に比べて著しく小さくなっている。また、磁性膜が非晶質であることもノイズレベルが低い原因である。また、従

来の磁気記録媒体では、隣同士の記録磁区の間や記録磁区の中に、反磁界の影響によって生じる、周囲と逆向きの磁化を有する微小な逆磁区が観察されたが、本実施例の磁気記録媒体では、隣同士の記録磁区の間や記録磁区の中に、微小な逆磁区は殆ど観察されなかった。隣同士の記録磁区の間や記録磁区の中に、微小な逆磁区が殆ど存在しないこともノイズレベルが低い原因の1つである。

【0059】本実施例の磁気記録媒体において、磁化遷移領域に、ジグザグパターンが観測されなかったのは、表面に凹凸を有する無機化合物膜を磁性膜の下地として形成したために、下地膜の凹凸に対応して形成された磁性膜の凹凸が磁壁の移動の障害となったからである。磁壁部分においては、図8(A)に示すように僅かにジグザグパターンが形成されている。かかるジグザグパターンは、無機化合物薄膜の表面に存在する凹凸に依存して形成されるものであり、規則性を有している。それゆえ、凹凸の構造や形状を考慮して信号処理を行なうことにより、更に高S/Nで情報を再生することができる。なお、図8(A)においては、ジグザグパターンが下地膜の凹凸に沿って形成される様子を強調して示すために、下地膜の六角形状の凸部2個程度を磁化反転の単位(記録磁区)として模式的に示している。ジグザグパターンの変化はジッタの変化として観測できる。そこで、一定のパターンを磁気記録媒体に記録し、タイムインターバルアナライザ(TIA)により磁区のエッジの揺らぎを測定した。測定の結果、無機化合物薄膜を備えない磁気記録媒体に比べて、エッジの揺らぎは1/10以下に低減していた。

【0060】以上、本発明に従う磁気記録媒体及びそれを備える磁気記録装置について実施例により説明したが、本発明はこれに限定されるものではなく、種々の改良例及び変形例を含み得る。

【0061】例えば、上記実施例では、無機化合物膜2をガラス基板1上に直接成膜して磁気記録媒体を作製したが、例えば、Hfなどの非晶質の膜を介して無機化合物薄膜を形成して磁気記録媒体を構成してもよい。これにより、無機化合物薄膜の初期成長層の形成を抑制することができるので、無機化合物薄膜の結晶粒子の配列の規則性や結晶性を更に向上させることができる。また、Hf以外に、Ru、Ti、Ta、Nb、Cr、Mo、W、Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>、C、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、SiO<sub>2</sub>、Ni-Pなどの材料を用いても同様の効果を得ることができる。

【0062】また、上記実施例では、磁性膜を、RFマグネトロンスパッタ法を用いて成膜したが、DCマグネトロンスパッタ法やエレクトロンサイクロトロンレゾナンスを利用したスパッタ法(ECRスパッタ法)を用いてもよい。また、磁性膜として、Tb-Fe-Co系の非晶質合金膜を用いたが、これ以外に、例えば、



Gd-Fe-Co、Dy-Fe-Co、Ho-Fe-Co、Tb-Gd-Fe-Co、Tb-Dy-Fe-Coなどの希土類と鉄族の合金膜や多層膜、更には、Pt（あるいはPd）/Co交互積層多層膜などの磁壁移動型の情報記録用の磁性膜を用いてもよい。

【0063】また、磁性膜と無機化合物薄膜との間に中間膜を設けることもできる。これによりディスクの信頼性をさらに向上させることができる。中間膜に用いる材料は、Hf、Ru、Ti、Ta、Nb、Cr、Mo、W、Ni-P、Cなどの元素や、これらの元素を母元素とし、これに母元素以外の元素を添加した合金が好ましい。これらの材料から構成される中間膜を磁性膜と無機化合物薄膜との間に設けることにより、無機化合物層から磁性膜中への酸素が拡散することを抑制することができる。それゆえ、磁性膜の磁気特性の変動が抑制されるので、磁気記録媒体の信頼性を向上させることができる。

【0064】

【発明の効果】本発明の磁気記録媒体は、結晶粒子とその粒界によって表面上に微細で且つ規則正しい凹凸が形成された下地膜を有し、この下地膜上に非晶質の磁性膜を備えるので、磁性膜にも下地膜に対応した微細な凹凸が形成されている。かかる磁性膜の凹凸は、磁壁の移動の障壁となって磁性膜に形成された磁区のエッジ位置を高精度に画定することができる。それゆえ磁性膜に形成される記録磁区の揺らぎが低減され、低ノイズで且つ高い信頼性で情報を再生することができる。

【0065】本発明の磁気記録媒体及びその磁気記録媒体を装着した磁気記録装置は、60 Gbits/inch<sup>2</sup>を越える高記録密度で情報を記録することができ

る。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の磁気記録媒体の断面構造を模式的に示す図である。

【図2】E C Rスパッタ装置の概略構成を示す図である。

【図3】無機化合物薄膜の平面構造の概略を示す図である。

【図4】無機化合物薄膜の断面構造の概略を示す図である。

【図5】無機化合物薄膜とその上に成膜された磁性膜の断面構造の概略を示す図である。

【図6】本発明に従う磁気記録装置の概略構成図である。

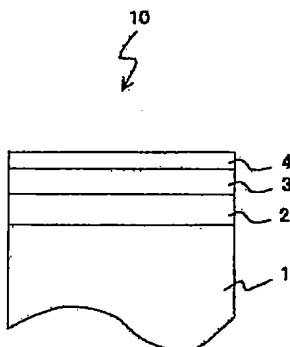
【図7】図6の磁気記録装置のA-A'方向における断面図である。

【図8】磁化遷移領域の様子を模式的に示した図であり、図8（A）は本発明の磁気記録媒体の磁化遷移領域の様子であり、図8（B）は従来の磁気記録媒体の磁化遷移領域の様子である。

【符号の説明】

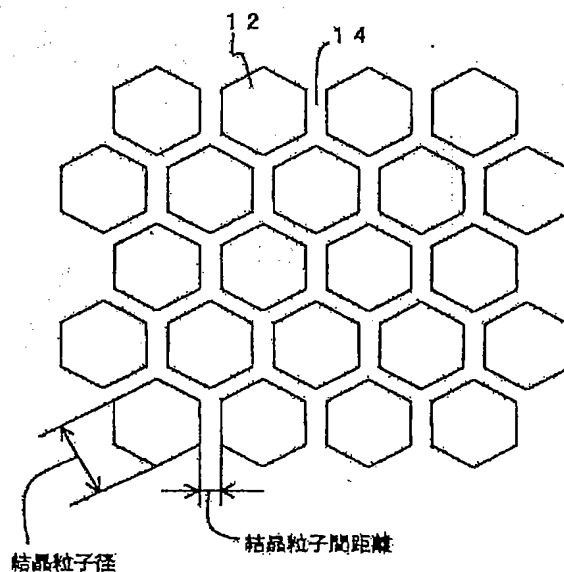
- 1 基板
- 2 無機化合物薄膜
- 3 磁性膜
- 4 保護膜
- 5 1 磁気ディスク
- 5 2 スピンドル
- 5 3 磁気ヘッド
- 5 4 磁気ヘッドの駆動系

【図1】

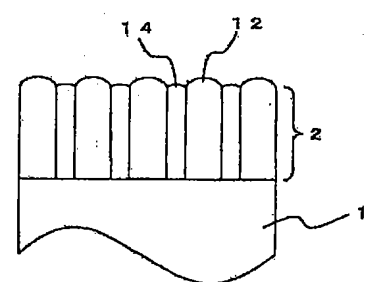


- 1 基板
- 2 下地膜
- 3 磁性膜
- 4 保護膜

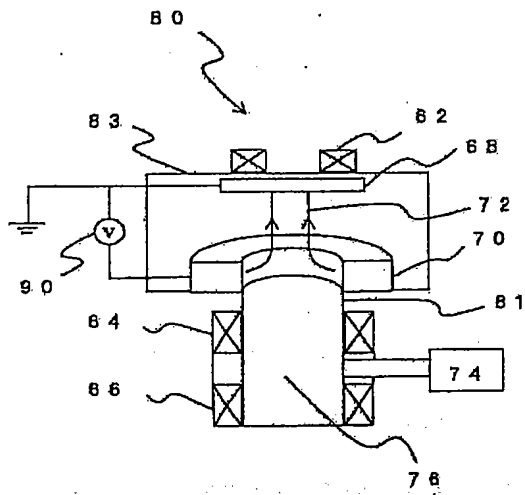
【図3】



【図4】

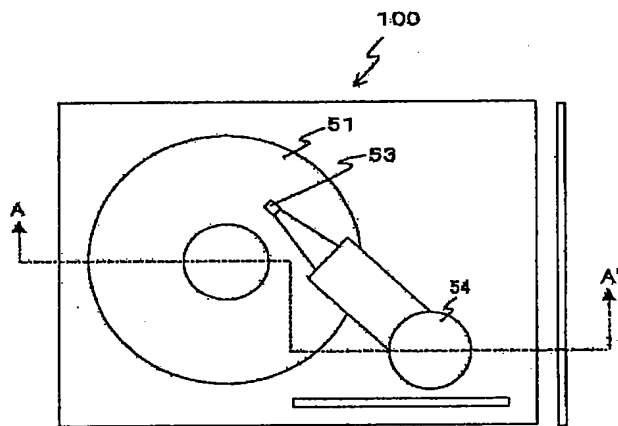


【図2】

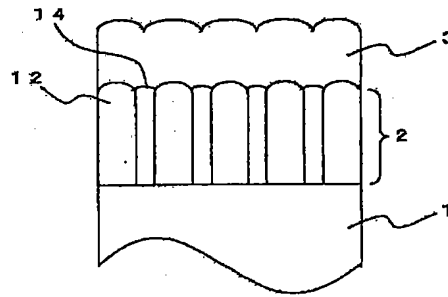


- 62、64、66 コイル  
 68 蓋板  
 70 ターゲット  
 72 ターゲット粒子の流れ  
 74 マイクロ波発生器  
 76 ECRプラズマ  
 80 ECRスパッタ装置  
 81 第1チャンバ  
 83 第2チャンバ  
 90 電源

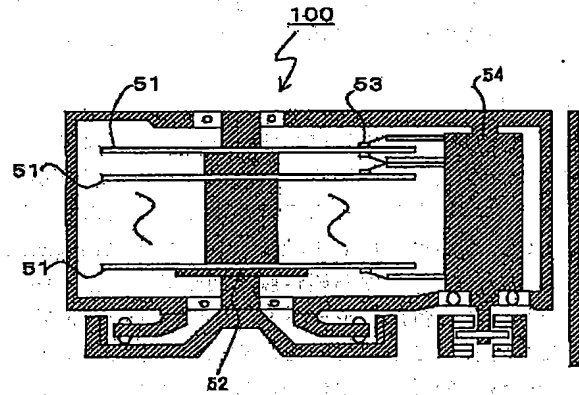
【図6】



【図5】

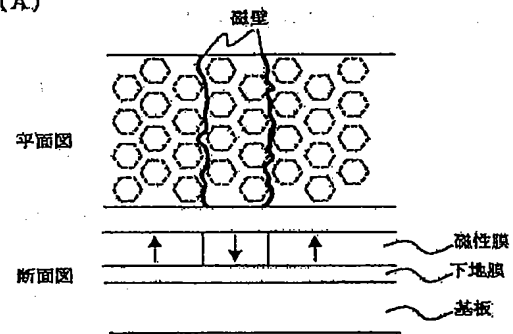


【図7】

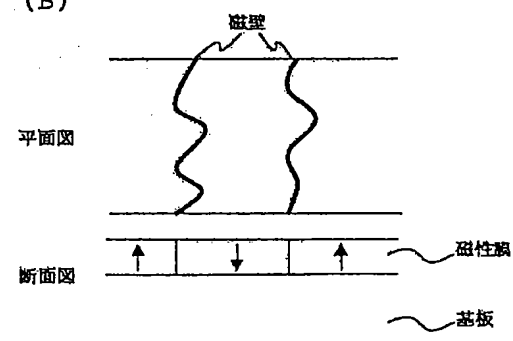


【図8】

(A)



(B)



## フロントページの続き

(72) 発明者 太田 憲雄  
大阪府茨木市丑寅一丁目 1 番 88 号 日立マ  
クセル株式会社内

(72) 発明者 竹内 輝明  
大阪府茨木市丑寅一丁目 1 番 88 号 日立マ  
クセル株式会社内

(72) 発明者 矢野 亮  
大阪府茨木市丑寅一丁目 1 番 88 号 日立マ  
クセル株式会社内

(72) 発明者 坂本 晴美  
大阪府茨木市丑寅一丁目 1 番 88 号 日立マ  
クセル株式会社内

(72) 発明者 若林 康一郎  
大阪府茨木市丑寅一丁目 1 番 88 号 日立マ  
クセル株式会社内

(72) 発明者 松沼 悟  
大阪府茨木市丑寅一丁目 1 番 88 号 日立マ  
クセル株式会社内

(72) 発明者 稲葉 信幸  
大阪府茨木市丑寅一丁目 1 番 88 号 日立マ  
クセル株式会社内

(72) 発明者 本田 光利  
茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株  
式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 山本 浩貴  
茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株  
式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 中澤 哲夫  
茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株  
式会社日立製作所日立研究所内

(72) 発明者 内藤 孝  
茨城県日立市大みか町七丁目 1 番 1 号 株  
式会社日立製作所日立研究所内

F ターム (参考) 4K029 AA09 BA02 BA03 BA06 BA07  
BA09 BA11 BA12 BA16 BA17  
BA21 BA26 BA32 BA34 BA35  
BA43 BA44 BA46 BA48 BA58  
BB02 BD11 CA05 DC09 DC48  
5D006 BB07 CA01 CA05 CA06 EA03  
FA09

